

## MEDICAL TECHNICAL PRODUCT, METHOD FOR PRODUCING THE SAME AND PROVIDING THE SAME FOR SURGERY

Patent Number: WO0209789

Publication date: 2002-02-07

Inventor(s): ODERMATT ERICH K (CH); WEIS CHRISTINE (DE); FRIEDRICH VOLKER (DE)

Applicant(s): ODERMATT ERICH K (CH); AESCULAP AG & CO KG (DE); WEIS CHRISTINE (DE); FRIEDRICH VOLKER (DE)

Requested Patent:  WO0209789

Application Number: WO2001EP08768 20010728

Priority Number (s): DE20001037601 20000802; DE20011017099 20010406

IPC Classification: A61L31/04

EC Classification: A61L31/04H

Equivalents: AU1043602,  DE10117099, EP1305062

Cited Documents: US5393528; WO9816265; WO9812243; US6099952; WO0144307; WO0168720

### Abstract

The invention relates to a medical technical product used for adhesion prophylaxis for preventing post-operative adhesions in the body. The inventive product comprises at least one PVA (polyvinyl alcohol) selected from the group of uncross-linked PVA having a molecular weight of from 15000 to 400000, cross-linked PVA and mixtures thereof. The molecular weight of the PVA or of the mixture is selected so as to be substantially discharged via the kidneys without a degradation of the PVA molecules.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2



(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. Februar 2002 (07.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/09789 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **A61L 31/04** (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/08768

(22) Internationales Anmeldedatum:  
28. Juli 2001 (28.07.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 37 601.0 2. August 2000 (02.08.2000) DE  
101 17 099.8 6. April 2001 (06.04.2001) DE

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): AESCULAP AG & CO. KG [DE/DE]; Am Aesculap-Platz, 78532 Tuttlingen/Donau (DE).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRIEDRICH, Volker [DE/DE]; Steigenweg 8, 78532 Tuttlingen (DE). ODERMATT, Erich, K. [CH/CH]; Fernsichtstrasse 7a, CH-8200 Schaffhausen (CH). WEIS, Christine [DE/DE]; Bismarckstrasse 41, 78532 Tuttlingen (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(74) Anwalt: RUFF, WILHELM, BEIER, DAUSTER & PARTNER; Kronenstrasse 30, 70174 Stuttgart (DE).

(54) Title: MEDICAL TECHNICAL PRODUCT, METHOD FOR PRODUCING THE SAME AND PROVIDING THE SAME FOR SURGERY

**A2** (54) Bezeichnung: MEDIZINTECHNISCHES PRODUKT, VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG UND BEREITSTELLUNG FÜR DIE CHIRURGIE

(57) Abstract: The invention relates to a medical technical product used for adhesion prophylaxis for preventing post-operative adhesions in the body. The inventive product comprises at least one PVA (polyvinyl alcohol) selected from the group of uncross-linked PVA having a molecular weight of from 15000 to 400000, cross-linked PVA and mixtures thereof. The molecular weight of the PVA or of the mixture is selected so as to be substantially discharged via the kidneys without a degradation of the PVA molecules.

(57) Zusammenfassung: Ein medizintechnisches Produkt zur Adhäsionsprophylaxe für die postoperative Verhinderung von Verwachsungen im Körper umfasst mindestens einen PVA (Polyvinylalkohol) ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus unvernetztem PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000, vernetztem PVA und Mischungen davon. Das Molekulargewicht des PVA bzw. der Mischung ist so gewählt, dass er im wesentlichen ohne Degradation der PVA-Moleküle über die Niere ausscheidbar ist.

**WO 02/09789**

- 1 -

## Beschreibung

### 5 Medizintechnisches Produkt, Verfahren zu seiner Herstellung und Bereitstellung für die Chirurgie

Die vorliegende Erfindung betrifft ein medizintechnisches Produkt zur Adhäsionsprophylaxe für die postoperative Verhinderung von  
10 10 Verwachsungen im Körper, ein Verfahren zu seiner Herstellung und seine Bereitstellung für die Chirurgie.

Bei jedem chirurgischen Eingriff in die Leibeshöhle eines Patienten besteht die Gefahr von unerwünschten Narbenbildungen. Die Operation  
15 15 stellt eine Traumatisierung des Peritoneums dar, die zu einer entzündlichen Reaktion mit Exsudation von Fibrin führt. Daraus entstehende fibrinöse Verklebungen können bei ausreichender fibrinolytischer Aktivität innerhalb der Bauchhöhle aufgelöst werden, so dass keine andauernden Beschwerden beim Patienten auftreten. Reicht  
20 20 aber die enzymatische Reaktion bei einem Patienten nicht aus, um die Fibrinablagerungen zu lysieren, entstehen feste permanente Adhäsionen. Solche Verwachsungen können beim betroffenen Patienten zu Schmerzen, verzögerter Wundheilung oder Funktionsstörungen an Bauchorganen führen.

25 25 Als Beispiele sind allgemein chirurgische Eingriffe und auch Laparoskopien im Bereich der Gynäkologie zu nennen, wo entstandene Verwachsungen häufig Ursache von Unterleibsschmerzen und Infertilität sind.

30 30 In der Herzchirurgie werden in den letzten Jahren zunehmend Reoperationen, Ersatz von Kunstklappen oder Anlage aortocoronarer Bypasse

- 2 -

durchgeführt. Hierbei stellen 'durch einen Primäreingriff hervorgerufene pericardiale Adhäsionen, wegen Blutungskomplikationen oder Verletzungen aortocoronarer Bypässe ein erhebliches Risiko für den Patienten mit hoher Letalitätsrate dar.

5

In der Nephrologie können peritoneale Adhäsionen bei der Durchführung der kontinuierlich ambulanten Peritonealdialyse entstehen. Bei Verwachsungen im Darmbereich werden häufig Passagestörungen beobachtet.

10

Diese Komplikationen führen neben dem subjektiven Krankheitsgefühl des Patienten, zu verlängerter medizinischer Behandlung, chronischen Schmerzen und erhöhten Kosten.

15

Seit langem versucht die Medizin, durch Verbesserung operationstechnischer Massnahmen und der chirurgischen Technik, Verwachsungen und die damit verbundenen Komplikationen zu verhindern. Diese reichen jedoch nicht aus, so dass wirksame additive Massnahmen zur Prophylaxe postoperativer Adhäsionen notwendig 20 sind.

25

Es wurden zur Prophylaxe peritonealer Adhäsionen eine Vielzahl von Substanzen vorgeschlagen, wie beispielsweise Glaskörperflüssigkeit von Kalbsaugen oder Olivenöl. Mit Antikoagulantien und Fibrinolytika konnte zwar eine Reduzierung der Verwachsungen erreicht werden, das Risiko postoperativer Blutungen hat jedoch eine Verbreitung in den Kliniken verhindert. Die lokale Anwendung von Antibiotika hat überwiegend zu einer Verstärkung der Adhäsionsbildung geführt. Die meisten bekannten Substanzen zur Adhäsionsprophylaxe werden mit 30 dem Ziel eingesetzt, die Läsionen des Peritoneums während der Abheilung von den benachbarten Geweben zu trennen.

Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein medizintechnisches Produkt zum Einsatz bei chirurgischen Eingriffen, insbesondere zur Vermeidung von unerwünschten Adhäsionen zur Verfügung zu stellen, das die Schwierigkeiten von medizintechnischen Produkten aus dem Stand der 5 Technik überwindet, einfach und kostengünstig herzustellen ist und in der Praxis bei üblichen chirurgischen Methoden leicht zu handhaben ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein medizintechnisches Produkt zur Adhäsionsprophylaxe für die postoperative Verhinderung von 10 Verwachsungen im Körper umfassend mindestens einen PVA (Polyvinylalkohol) ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus unvernetztem PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000 g/mol, vernetztem PVA und Mischungen davon. Mit Vorteil kann das erfindungsgemäße medizintechnische PVA-Produkt als Folie, 15 Membran, Lösung, Schaum, Gel oder als Spray oder Pulver vorgesehen sein.

PVA ist wegen seiner ausgezeichneten Bioverträglichkeit (Biokompatibilität) für eine Anwendung im Körper eines Patienten besonders 20 geeignet. Beispielsweise wird PVA in vivo nicht modifiziert, es führt zu keinen entzündlichen Reaktionen und es wird nur in geringem Umfang in Körperorganen akkumuliert. Prinzipiell ist PVA ein biologisch abbaubares synthetisches Polymer mit einem Kohlenstoff-Kohlenstoff-Rückgrat. Es ist ein enzymatischer Abbaumechanismus bekannt, der 25 mehrere Tage dauert. Die Hydroxylgruppe wird dabei zu einer Ketogruppe oxidiert und unter Spaltung der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung in Methylketone und Carboxylsäuren hydrolysiert.

Die Ausscheidung des PVA ohne Degradation erfolgt grösstenteils über 30 die Niere, wobei die Ausscheidungsgeschwindigkeit vom Molekulargewicht abhängig ist. PVA mit einem Molekulargewicht von weniger als 15000 g/mol wird innerhalb weniger Stunden aus dem Körper ausge-

schieden, was für die vorgesehene Anwendung in der Adhäsionsprophylaxe zu schnell erfolgt.

Mit besonderem Vorteil kann der erfindungsgemäss eingesetzte PVA ein 5 Molekulargewicht von 20000 bis 400000 g/mol aufweisen. In einer Ausführungsform kann der PVA aus einem Gemisch von niedermolekularen und hochmolekularen Komponenten gebildet sein, wobei insbesondere die hochmolekulare Komponente PVA ist.

10 Polyvinylalkohol ist wegen seiner Hydroxylgruppen wasserlöslich. Durch eine Modifizierung können die Löslichkeit und andere chemische und physikalische Eigenschaften des Polymers verändert werden. Die Modifizierung von PVA kann durch chemische Modifizierung, durch physikalische Modifizierung oder eine Kombination von Modifizierungen 15 vorgenommen sein. Als Beispiele für chemische Modifizierung sind Copolymerisation, Ppropfung oder chemische Vernetzung zu nennen. Als Beispiel für physikalische Modifizierung sind physikalische Vernetzung, Ausbildung orientierter Molekularstrukturen, Hydrogele und Kristallitbildung zu nennen.

20 Eine chemische Vernetzung des rohen PVA kann allgemein über die alkoholischen Gruppen in einer Additionsreaktion mit Diisocyanat oder in einer Kondensationsreaktion mit einer mehrfunktionellen Säure durchgeführt werden. Eine reversible Unlöslichkeit durch Vernetzung ist 25 zur biologischen Ausscheidung des PVA bevorzugt. Von besonderer Bedeutung für die Bereitstellung des erfindungsgemässen Produkts für die Medizin ist, dass unter den physiologischen Bedingungen im Körper des Patienten keine toxischen oder gesundheitsschädlichen Substanzen entstehen. Aus diesem Grund ist eine hydrolysierbare Vernetzung, 30 insbesondere mittels mehrwertiger Carbonsäuren, beispielsweise in Form von Anhydriden, erfindungsgemäss bevorzugt. Es kann auch eine enzymatisch spaltbare Vernetzung verwendet werden. Die Vernetzung

- 5 -

kann mit einem metabolisierbaren Diisocyanat vorgenommen sein, das eine spaltbare Bindung trägt, wie beispielsweise eine Esterbindung. So können keine Urethanbrücken entstehen, die nicht oder erst nach langer Zeit im Körper abgebaut werden.

5

In einer Ausführungsform der Erfindung kann PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000 g/mol chemisch vernetzt sein. Mit Vorteil kann sich das erfindungsgemäße Produkt dadurch auszeichnen, dass die Vernetzung mittels Vernetzern vorgenommen ist, 10 die eine in vivo reversible Vernetzung, insbesondere durch chemische Hydrolyse reversible Vernetzung ergeben. Bei resorbierbaren Polymeren sind die Vernetzungsstellen vorzugsweise chemisch hydrolyzierbar, nicht enzymatisch spaltbar. In einer bevorzugten Ausführungsform kann beim erfindungsgemäßen Produkt zur Adhäsionsprophylaxe die chemische Vernetzung durch Veresterung vorgenommen sein. 15

Erfindungsgemäß bevorzugt können als Vernetzer mehrwertige Dicarbonsäuren und/oder ihre Derivate vorgesehen sein. Die 20 Veresterung der alkoholischen Gruppen im PVA mit Dicarbonsäuren zeichnet sich als reversible Vernetzungsreaktion aus. Als Vernetzungsmittel können insbesondere Anhydride von Carbonsäuren verwendet sein. Als Beispiele solcher Vernetzungsmittel sind Bernstein- 25 säureanhydrid oder Oxalsäureanhydrid zu nennen. Bernsteinsäureanhydrid ist reaktiver als die Bernsteinsäure, da Ringöffnungsenergie frei wird.

Auch andere Vernetzer mit mindestens zwei funktionellen Gruppen sind möglich. Ferner können als Vernetzungsmittel Verbindungen mit 30 Doppelbindungen eingesetzt werden. Als Beispiele hierfür sind Imide und Acrylate zu nennen.

Wenn die Vernetzungsreaktion in Lösung durchgeführt wird, ist ein kurzkettigeres Vernetzungsgagens vorteilhafter, da die Wahrscheinlichkeit einer intramolekularen Reaktion mit nur einer Polymerkette gering ist. Auf diese Weise sind Oxalsäure und ihre 5 Derivate wegen der kürzeren Molekülkette erfindungsgemäss bevorzugt.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000 g/mol physikalisch vernetzt sein. Mit Vorteil kann die physikalische Vernetzung durch 10 Kristallitbildung vorgenommen sein. Bei einer solchen physikalischen Vernetzung ist ein dreidimensionales Netzwerk von PVA-Molekülen ausgebildet, das durch Kristallite als physikalische Vernetzungspunkte zusammengehalten wird.

15 Zur Ausbildung einer physikalischen Vernetzung kann eine wässrige Lösung von PVA für 6 bis 48 Stunden bei -20 °C eingefroren und dann bei 25 °C über 2 bis 6 Stunden aufgetaut werden, so dass sich die gewünschte Vernetzung ausbildet. Gemäss der Erfindung kann die Darstellung von PVA-Hydrogelen über einen Gefrier-/Tauzyklus 20 vorgenommen werden, der mit Vorteil insbesondere mehrmals wiederholt werden kann. Bei der physikalischen Vernetzung durch Gefrier-/Tauzyklen können bei unterschiedlichen Temperaturen verschiedene Phasen zugeordnet sein. Insbesondere können durch Gefrier-/Tauzyklen Nanopartikel hergestellt werden.

25 Die PVA-Ketten können auch modifiziert sein, indem nur wenige Hydroxylgruppen des PVA, vorzugsweise über Ester- und/oder Ethergruppen mit zusätzlichen Resten verbunden sind. Für eine solche Modifikation eignen sich insbesondere Fettsäuren und/oder Alkohole mit 30 einer Kettenlänge von C2 bis C16. Es können auch Aminosäuren oder Peptide verknüpft werden. Es reichen 1 bis 10, insbesondere 1 bis 2

- 7 -

Reste pro Molekül PVA aus. Durch die Modifikation kann erreicht werden, dass aus einer PVA-Lösung bei Erwärmung auf Körpertemperatur eine Gelierung erfolgt. Wird beispielsweise eine PVA-Lösung bei Raumtemperatur appliziert, z. B. durch Sprühen, bildet sich 5 bei Erwärmung auf Körpertemperatur (37 °C) sofort ein Film, der die gewünschte Adhäsionsprophylaxe bewirkt.

In einer anderen Ausführungsform kann PVA in Mischung mit einer hochmolekularen Komponente vorliegen, die kein PVA ist. Eine solche 10 hochmolekulare Komponente kann in einer Menge von 0,5 bis 4 Gew.-%, insbesondere 1 bis 2 Gew.-% vorliegen. Die hochmolekulare Komponente kann als Bilayer auf PVA aufgebracht sein. Eine solche Schichtstruktur kann beispielsweise durch Aufsprühen der hochmolekularen Komponente auf eine PVA-Membran ausgebildet sein. 15 Ferner kann die nicht aus PVA gebildete hochmolekulare Komponente zur zusätzlichen Medikamentenaufnahme vorgesehen sein.

Mit Vorteil kann dem erfindungsgemäßen PVA als hochmolekulare Komponente ein Zuckerpolymer zugesetzt sein. Insbesondere kann das 20 Zuckerpolymer ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Carboxymethylcellulose, Dextran, Hydroxymethylcellulose, Hydroxyethylstärke, Chitosan und/oder Heparin.

Gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das 25 Produkt zur Adhäsionsprophylaxe in Form einer mindestens einschichtigen Folie vorliegen. PVA-Filme können industriell durch Extrusion hergestellt sein. Insbesondere können PVA-Filme nach einem Giessverfahren hergestellt sein. Besonders dünne und homogene Membranen von etwa 5 bis 7 µm Dicke können nach dem Spin-Casting- 30 Verfahren hergestellt sein.

Erfindungsgemäss kann die Folie aus nur einer Schicht gebildet sein. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann die Folie aus zwei Schichten, einem sogenannten Bilayer, gebildet sein. Als Beispiele für einen solchen Bilayer sind zwei Schichten auf Basis von PVA oder eine 5 Kombination von PVA und einer weiteren Komponente ausgewählt aus der Gruppe der Kohlenhydrate, Lipide und Proteine sowie deren Derivate zu nennen. Bevorzugt kann ein Bilayer aus PVA und CMC (Carboxymethylcellulose) gebildet sein. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann die Folie aus drei Schichten, einem sogenannten Tri- 10 layer, gebildet sein. Beispiele hierfür sind sandwichartige Kombinationen von PVA und CMC, etwa mit der Schichtenfolge CMC/PVA/CMC, PVA/CMC/PVA, CMC/PVA/PVA oder CMC/CMC/PVA, ebenso Kombinationen von PVA, CMC und einer weiteren Komponente ausgewählt aus der Gruppe der Kohlenhydrate, Lipide und Proteine sowie deren 15 Derivate.

In sandwichartigen Strukturen können die aus PVA, CMC und gegebenenfalls anderen Komponenten gebildeten Schichten miteinander verbunden sein, beispielsweise durch Verkleben oder Verschweissen. Als 20 Klebemittel sind Wasser, wässrige Lösungen von PVA oder CMC zu nennen. Verschweissen kann durch Anwendung von Wärme, bevorzugt in Form von Punktschweissen, oder Ultraschall erfolgen.

Liegt die mit der PVA-Schicht verbundene zweite Schicht in Form eines 25 offenporigen Materials, beispielsweise in der bevorzugten Form eines insbesondere durch Lyophilisation erhaltenen Vlieses vor, dann braucht die Sandwich- oder Bilayerstruktur nicht besonders am Gewebe des Patienten befestigt zu werden, da die offene Struktur eine Selbsthaftung bewirkt.

30 Ein schichtförmiges Produkt zur Adhäsionsprophylaxe kann in nicht gepresster Form vorliegen. In einer anderen Ausführungsform kann ein

schichtförmiges Produkt zur Adhäsionsprophylaxe in gepresster Form vorliegen. Durch das Pressen kann insbesondere eine oberflächliche Strukturierung, beispielsweise eine Prägung aufgebracht sein.

5 Erfindungsgemäß kann die Folie mindestens einseitig eine Strukturierung aufweisen. Eine solche Struktur kann beispielsweise durch Giessen auf eine strukturierte Fläche oder durch Prägen ausgebildet sein. Vorzugsweise kann eine Strukturierung in geometrischen Formen vorgesehen sein. Eine solche Oberflächenstruktur kann auf beiden Seiten des  
10 schichtförmigen Produkts unterschiedlich gestaltet sein.

Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das Produkt zur Adhäsionsprophylaxe in Form eines Schaums oder eines Schaumprecursors vorliegen. In einer besonderen Ausführungsform kann mindestens eine Schicht in Form eines Schaums oder  
15 eines Schaumprecursors vorgesehen sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das Produkt zur Adhäsionsprophylaxe in Form einer Lösung vorliegen. Bevorzugt kann die Lösung gesprayt werden.  
20

Gemäß noch einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das Produkt zur Adhäsionsprophylaxe in Form eines Gels vorliegen. Insbesondere kann es in Form eines Mikrogels vorliegen. Bevorzugt kann es in Form eines formstabilen Hydrogels vorliegen. Mikrogele können mit geeigneten Treibgasen versprüht werden, so dass sie auf diese Weise als Sprühgele für die Adhäsionsprophylaxe verwendet werden können.  
25

30 Besonders bevorzugt kann der erfindungsgemäße PVA in Form von Mikropartikeln mit Durchmessern in Nanometer-Bereich, sogenannten Nanopartikeln vorliegen. Die Nanopartikel können in verschiedenen

- 10 -

Formen als medizintechnisches Produkt vorgesehen sein. Als Beispiele sind die oben genannten Anwendungsformen wie Gel, Folie oder Spray zu nennen. Es ist auch möglich, Mikro-, insbesondere Nanopartikel, auf der Oberfläche einer Folie vorzusehen.

5

Das erfindungsgemäße medizintechnische Produkt zeichnet sich mit Vorteil dadurch aus, dass es in mit wässrigen Medien gequollener Form bereitgestellt ist. Bei schwach vernetzten, trockenen Polymeren tritt in wässrigen Medien oder geeigneten Lösemitteln Quellung auf, wobei die 10 Quellung an der Oberfläche beginnt und ins Innere fortschreitet. Die Quellungsgeschwindigkeit wird dabei nicht durch die Diffusionskoeffizienten der Quellungsmittel, sondern durch die Diffusionsgeschwindigkeit der Segmente des Polymeren beeinflusst. Je mehr die Quellung fortschreitet, um so stärker machen sich die elastischen Rückstellkräfte 15 der vernetzten Polymerketten bemerkbar. Gele weisen viskoelastische Eigenschaften auf. Die Quellung erfolgt bis zu einem maximalen Wert. Im Gegensatz zu unvernetzten Polymeren, aus denen wässrige Lösungen in variabler Konzentration hergestellt werden können, werden chemisch vernetzte Polymere nicht gelöst.

20

Das erfindungsgemäße Produkt zur Adhäsionsprophylaxe kann in Form einer im Laminarflow getrockneten Membran durch Quellung eine Flüssigkeitsmenge, wie beispielsweise Wasser, von 20 % des Produktgewichts aufgenommen haben. Durch die Aufnahme von Flüssigkeit bei 25 der Quellung entsteht ein Gel, das reibungshemmende Funktionen ausübt. Das Produkt zur Adhäsionsprophylaxe kann in Form eines Hydrogels zu 80 % aus Wasser bestehen. Für die erfindungsgemäße Anwendung in der Adhäsionsprophylaxe kann es damit die Mesothelfunktion übernehmen.

30

Für die Verwendung in der Adhäsionsprophylaxe ist es wünschenswert, dass sowohl Membranen als auch Gele nicht steif sind. Die Steifigkeit

- 11 -

der Gele ist durch ihren Elastizitätsmodul gegeben, welcher direkt proportional zu der Konzentration an elastischen Netzwerkketten ist. Kovalent vernetzte Gele weisen eine Dimensionalität von  $d = 3$  auf. Der Elastizitätsmodul nimmt mit steigender Konzentration gemäss der Formel  $E = K \cdot c^{9/4}$  zu.

Kovalent und physikalisch vernetzte Gele unterscheiden sich in der Konzentrations- und der Polymerisationsgradabhängigkeit der Moduln. Prinzipiell kann man sich physikalische Netzwerke wie einen Teller 10 Spaghetti vorstellen, die sich untereinander verhaken. In beiden Fällen wird der Modul durch die Konzentration an Netzstellen kontrolliert. Bei kovalent verknüpften Netzwerken ist dafür nur der Quellungsgrad und somit die Konzentration des Vernetzers im Gel verantwortlich. Der Polymerisationsgrad ist unendlich hoch und kann auch durch Scherung 15 nicht verändert werden. Dies spielt eine grosse Rolle bei normalen Körperbewegungen, da der Polymerisationsgrad unverändert bleibt. In kovalenten Netzwerken ist kein Abgleiten der Ketten möglich. Bei physikalischen Netzwerken werden unter Scherung die Netzpunkte aufgelöst und wieder verknüpft. Ein nur physikalisch vernetztes Polymer kann unter bestimmten Bedingungen von einer Oberfläche wieder abgewaschen 20 werden und so in der Chirurgie insbesondere für eine geringe Verweilzeit und geringe Funktionsdauer im Körper geeignet sein. Ein besonderer Vorteil kovalent vernetzter Polymere ist, dass ihre Eigenschaften nach Wunsch eingestellt werden können.

25 Polyvinylalkohol in Form eines Hydrogels ist ein gummiartiges Material, wobei seine Elastizität über definierte Netzpunkte so eingestellt werden kann, dass sie weichem Körpergewebe oder Muskeln sehr nahe kommt. Gleichzeitig weist PVA eine hohe Zugfestigkeit auf.

30 Gemäss der Erfindung kann das Molekulargewicht des PVA bzw. der Mischung so gewählt sein, dass er im wesentlichen ohne Degradation

- 12 -

der PVA-Moleküle über die Niere ausscheidbar ist. Gegebenenfalls kann PVA nach einer Hydrolyse bzw. nach Aufhebung der Vernetzung, im wesentlichen ohne Degradation der PVA-Moleküle über die Niere ausscheidbar sein.

5

Erfindungsgemäß bevorzugt kann der Vernetzungsgrad des medizintechnischen PVA-Produkts so eingestellt sein, dass seine Funktionsdauer im Operationsgebiet 5 bis 21 Tage, insbesondere 5 bis 14 Tage beträgt. Zur Adhäsionsprophylaxe ist es wünschenswert, dass das Material mindestens für 5 Tage in der peritonealen Höhle verbleibt. Eine Steuerung der Ausscheidungszeit kann über eine Einstellung von Parametern erfolgen, die die PVA-Ausscheidung beeinflussen. Als Einflussfaktoren sind beispielsweise chemische Vernetzung, physikalische Vernetzung des PVA-Materials, Schichtdicke, Mischungszusammensetzung sowie Zusatz von Additiven wie Zuckerpolymeren zu nennen.

Mit Vorteil kann die makroskopische Auflösung des erfindungsgemäßen medizintechnischen Produkts unter physiologischen Bedingungen 7 bis 60 Tage betragen. Die Verweilzeit des PVA im Körper hängt auch ab vom hydrodynamischen Radius der Polymermoleküle. Erfindungsgemäßer PVA kann mit Vorteil einen hydrodynamischen Radius von 5 nm bis 15 nm, insbesondere von 5 nm aufweisen.

Mit besonderem Vorteil kann der vernetzte PVA ein in physiologischer Umgebung vorteilhaftes Benetzungsvorverhalten aufweisen. Das erfindungsgemäße medizintechnische Produkt zur Adhäsionsprophylaxe kann sich besonders dadurch auszeichnen, dass der vernetzte PVA eine Struktur aufweist, die in physiologischem Milieu einen Stoffaustausch von kleinen Molekülen erlaubt, aber eine Anlagerung von physiologischen Substanzen, wie insbesondere Blut und Zellen im wesentlichen verhindert.

Zu diesem Zweck können Struktureigenschaften des medizintechnischen Produkts wie die Oberflächenstruktur, Porenstruktur und die Netzwerkdichte einer PVA-Membran so angepasst sein, dass sie für kleine Moleküle wie beispielsweise Wasser, Glucose oder Nährstoffe 5 durchlässig ist, andererseits aber die Anlagerung von grossen Partikeln, wie beispielsweise Blut, von Körperzellen, Makrophagen oder Mikroorganismen, wie beispielsweise pathogenen Bakterien vermieden werden kann.

10 PVA-Lösungen und Blends können ein LCST-Verhalten (lower critical solution temperature) aufweisen. Unterhalb dieser kritischen Temperatur liegt das PVA gelöst vor. Oberhalb dieser Temperatur fällt das PVA-Polymer aus. Mittels Modifikationen kann das Phasenverhalten gesteuert werden. Als Beispiele solcher Modifikationen können Anbinden von kurzen Resten mit einer Kettenlänge von C2 bis C16, z. B. Dodecylreste, 15 oder kurzkettigen Fettsäuren, Kohlenhydraten, Aminosäuren, Peptiden oder Blenden, d. h. Mischen mit anderen Polymeren genannt werden. Auf diese Weise kann eine PVA-Lösung bei Raumtemperatur nach Applikation beim Patienten, z. B. Sprühen, auf Körpergewebe bei Körpertemperatur 37 °C sofort einen Film bilden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines medizintechnischen Produkts zur Adhäsionsprophylaxe, das dadurch gekennzeichnet ist, dass es aus mindestens einem PVA ausgewählt 25 aus der Gruppe bestehend aus unvernetztem PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000 g/mol, vernetztem PVA und Mischungen davon gebildet wird, wobei das Molekulargewicht des PVA bzw. der Mischung so gewählt wird, dass er gegebenenfalls nach Aufhebung der Vernetzung, im wesentlichen ohne Degradation der PVA- 30 Moleküle über die Niere ausscheidbar ist.

Mit besonderem Vorteil wird das medizintechnische Produkt lyophilisiert. Durch Lyophilisation kann der erfindungsgemäße PVA in eine schwammartige Struktur überführt werden. Eine solche Struktur verbessert die Handhabungseigenschaften des medizintechnischen Produkts.

5

In einer Ausführungsform der Erfindung kann PVA physikalisch vernetzt werden, insbesondere durch Kristallitbildung. Mit Vorteil kann die physikalische Vernetzung durch Gefrier-/Tauzyklen vorgenommen werden, die insbesondere mehrfach wiederholt werden. Bevorzugt können durch 10 Gefrier-/Tauzyklen Nanopartikel hergestellt werden.

Zur Herstellung von PVA-Partikeln wird eine Wasser/Öl-Emulsion homogenisiert und diese Emulsion eingefroren. Es ist keine Tensidzugabe nötig. Die Grösse der resultierenden Partikel hängt von der Dauer und 15 der eingestellten Drehzahl (Umdrehungen pro Minute) im Homogenizer und natürlich der Konzentration an PVA ab. Die Grösse der PVA-Partikel kann im Bereich Nanometer über Mikrometer bis Millimeter eingestellt werden. Die Zahl der Gefrier-Auftau-Zyklen bestimmt den Kristallinitätsgrad und damit das Quellungsverhalten. Nach den Gefrierzyklen 20 können diese PVA-Nanopartikel oder Mikropartikel mittels Filtration abgetrennt und getrocknet werden. Solche Partikel können beispielsweise als Spray versprüht werden. Mit Vorteil können sie somit in der Adhäsionsprophylaxe eingesetzt werden.

25 In einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann PVA chemisch vernetzt werden, insbesondere in einem Lösemittelgemisch vernetzt werden. Hierbei kann eine unter physiologischen Bedingungen reversible Vernetzung bevorzugt sein. Bevorzugt kann eine chemische Vernetzung mittels mehrwertiger Carbonsäuren, insbesondere ihren Deriva- 30 ten vorgenommen werden.

Nach dem erfindungsgemässen Verfahren kann das Auflösungsverhalten, insbesondere die Funktionsdauer von PVA, vorzugsweise unvernetztem PVA oder physikalisch vernetztem PVA, mit einem Molekulargewicht im Bereich von 15000 bis 400000 g/mol durch Vermischen mit 5 hochmolekularen Komponenten, insbesondere PVA und/oder Zuckerpolymeren auf den gewünschten Grad eingestellt werden.

Mit Vorteil kann die Vernetzung bis zu einem gewünschten Vernetzungsgrad durchgeführt werden. Erfindungsgemäss kann das Auflösungsverhalten, insbesondere die Funktionsdauer durch den Vernetzungsgrad eingestellt werden.

Erfindungsgemäss bevorzugt sind Veresterungsreaktionen, die säurekatalysiert und damit pH-abhängig ablaufen. Ein wichtiger Verfahrensparameter ist die Konzentration von PVA in der wässrigen Reaktionslösung. Beispielsweise ist für einen PVA mit einem Molekulargewicht von 22000 g/mol eine Konzentration in wässriger Lösung von mindestens 6 Gew.-% erforderlich. Die Kondensationsreaktion läuft umso schneller ab, je höher die Temperatur ist. Die Gelbildungszeit hängt vom Anstieg der 10 Viskosität ab. Die Gelbildungszeit nimmt auf die Hälfte ab, wenn die Temperatur um 10 °C steigt. Andererseits steigt die Gelbildungszeit um mehrere Stunden, wenn der pH erhöht wird, beispielsweise von 9 auf 20 42 Stunden bei pH-Änderung von 1,2 auf 2,9.

25 In einer Ausführungsform kann die Vernetzungsreaktion an vorgefertigten Erzeugnissen, insbesondere PVA-Filmen durchgeführt werden. Aus PVA in wässriger Lösung können mittels Spin-Casting homogene Filme hergestellt werden. Werden solche Filme nach dem Trocknen in eine Lösungsmittelgemisch aus 90 % Aceton und 10 % Wasser gebracht, lässt 30 das Wasser die PVA-Membran quellen, ohne sie aufzulösen. In eine derart vorgequollene PVA-Membran kann ein chemisches Vernetzungs-

agens leicht eindringen und nach der vorgesehenen Reaktion wieder ausgewaschen werden.

Des weiteren betrifft die Erfindung die Bereitstellung des medizintechnischen Produkts wie es oben beschrieben ist zur Verwendung bei der Prophylaxe von Adhäsionen bei chirurgischen Eingriffen in der Humanmedizin und Veterinärmedizin. Das erfindungsgemäße Produkt auf Basis von PVA kann je nach den medizinischen Erfordernissen und der gewünschten Einsatzweise in verschiedenen Formen bereitgestellt bzw. 5 zur Verwendung vorbereitet werden. Beispielsweise in Form einer Membran, einer Lösung, eines Schaums, eines Gels oder eines Sprays. Das Produkt kann ganz oder teilweise eingefärbt sein. Das erfindungsgemäße medizintechnische Produkt kann als Beschichtung 10 auf chirurgischen Materialien wie beispielsweise Implantaten 15 vorgesehen sein.

Mit Vorteil kann das medizintechnische Produkt in Form einer Membran zur physikalischen Separation von Gewebeschichten im Körper bestimmt sein.

20 In einer weiteren Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt in Form einer mehrschichtigen Membran oder Folie zur physikalischen Separation von Gewebeschichten im Körper bestimmt sein, wobei vorzugsweise eine Seite so ausgebildet ist, dass Gewebeadhäsionen ver- 25 mieden werden und die andere so ausgebildet ist, insbesondere durch Strukturierung der Oberfläche, dass Gewebeadhäsionen begünstigt werden. Auf diese Weise kann beim chirurgischen Eingriff ein Annähen der Folie bzw. Membran zum Fixieren im Körper entfallen.

30 In einer anderen Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt in Form einer Lösung zur physikalischen Separation von Gewebeschichten im Körper bestimmt sein.

In einer weiteren Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt in Form eines Schaums zur physikalischen Separation von Gewebeschichten im Körper bestimmt sein.

5

In noch einer anderen Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt in Form eines Gels, insbesondere eines Sprühgels zur physikalischen Separation von Gewebeschichten im Körper bestimmt sein.

10 In noch einer weiteren Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt in Form von Nanopartikeln zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt sein.

In einer anderen Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt

15 als Spray zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt sein.

In einer speziellen Ausführungsform kann das medizintechnische Produkt mit einer separaten bioverträglichen Komponente in

20 Zusammenwirkung zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt sein. Als Beispiel kann eine Wechselwirkung von PVA mit ionischen Komponenten genannt werden, wobei sich bei deren Kombination im Operationsgebiet über Ionenbrücken ein Gel bildet, das zur Adhäsionsprophylaxe dient.

25 Weitere Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen in Form von Beispielen. Dabei können die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Kombination miteinander verwirklicht

30 sein. Die Beispiele dienen lediglich der Erläuterung der vorliegenden Erfindung, die in keiner Weise darauf beschränkt sein soll.

## Herstellung von Membranen und Hydrogelen aus PVA

### Beispiel 1.

#### Giessverfahren

5

PVA wird in ein verschraubbares Schottglas eingewogen mit deionisiertem Wasser aufgefüllt und im Trockenschrank bei 90 °C gelöst. Auf diese Weise ist der Vorgang sehr schnell und Schaumbildung kann vermieden werden (eine Entgasung ist nicht notwendig). Die Lösungen 10 werden mittels einer Einwegspritze durch sterile Filter (0,45 µm Porendurchmesser) filtriert, auf Teflon gegossen und im Laminarflow getrocknet. Die gewünschte Membrandicke kann mit der eingefüllten Menge gesteuert werden. Am besten eignen sich wässrige PVA-Lösungen von 15 4-20 %. Die Membranen können auf die geeignete Grösse zurechtgeschnitten werden.

Wenn eine strukturierte Oberfläche gewünscht ist, kann im Teflon eine ausgewählte Struktur vorgeformt sein, die sich dann auf das Produkt überträgt.

20

### Beispiel 2.

#### PVA-Viskosität

25 Der entscheidende Parameter für die Verarbeitung von gelösten hochmolekularen Stoffen ist die Viskosität. 8-10 %ige PVA-Lösungen lassen sich filtrieren und sind auch gut handhabbar. Die Filtration der Lösungen über die 0,45 µm-Filter ist bis zu einer Viskosität von 25 mPas möglich, für höhere Viskositäten müssen Filter mit grösserem Porendurchmesser 30 verwendet werden. Das Giessen ist bis 50 mPas völlig unproblematisch, für höhere Viskositäten sollte sehr langsam gegossen werden und eventuell auftretende Luftblasen mit einer Nadel angestochen bzw. mit einem

- 19 -

über die Oberfläche gezogenen Schieber an den Rand transportiert werden.

Beispiel 3.

#### 5 Membraneigenschaften

Die Membranen sind glatt und transparent, sie können jedoch die Struktur der Unterlage falls gewünscht aufnehmen und deshalb milchig erscheinen. Über eine Konditionierung (d.h. Wasseraufnahme) im Klimaschrank kann dies wieder aufgehoben oder eingestellt werden. Die Membranen sind homogen und zeigen bis zu einer 1500fachen Vergrösserung keine Poren. Im REM sind keine Löcher zu entdecken, um das Bild scharf zu stellen, müssen Staubkörner oder ähnliches fokussiert werden.

15

Beispiel 4.

#### Membran-Konditionierung

Die PVA-Membranen werden durch lange Trocknungsphasen an der Luft relativ spröde. Eine Konditionierung unter definierten Wärme- und Feuchtigkeitsbedingungen ist unerlässlich. Der Klimaschrank wird auf 37 °C und 100 % Luftfeuchtigkeit eingestellt. Unter der Einwirkung der Feuchtigkeit werden die Membranen sehr schnell weich und flexibel. Um optimale Konditionierungsbedingungen zu finden, wurden von verschiedenen Probenzusammensetzungen Teststreifen (4x1 cm) geschnitten und im Klimaschrank unterschiedlich lange gelagert. Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften zeigten, dass innerhalb der ersten drei Tage im Klimaschrank die Reisskraft abnimmt. Nach etwa 7 Tagen sind die Membranen abgesättigt und die Reisskraft pendelt sich auf einen Plateauwert ein. Die Reisskraft liegt dann im Bereich der Hälfte des Ausgangswertes. Eine Fehlerermittlung mit je 20 Proben aus drei Chargen ergibt nach 3 Tagen Konditionierung einen Fehlerbereich von 10

- 20 -

N/mm<sup>2</sup> (delta = 10 N/mm<sup>2</sup>).<sup>1</sup> Die Dehnung der Proben nimmt mit der Wasseraufnahme deutlich zu. Der Fehlerbereich, ebenfalls nach 3 Tagen Klimaschrank, liegt bei 30 % (delta = 30 %). Die Konditionierung erhöht die Dehnung der Proben auf bis zu 500 %. Das heisst, dass die 5 Membranen im relevanten Zeitraum die Bewegungen und damit verbundenen Dehnungen, die durch normale Körper- und Darmbewegungen entstehen, ohne Rissbildung überstehen. Bereits nach einem Tag Lagerung im Klimaschrank erhöht sich die Dehnbarkeit der Filme auf mehr als das Doppelte, ein Plateauwert wird (wie auch bei der Messung der 10 Reisskraft) nach etwa 6 bis 7 Tagen gefunden.

Beispiel 5.

Zusatzstoffe

15 Eine Beimischung von wenigen Prozent höhermolekularem PVA äussert sich in den Dehnungsmessungen deutlich. Schon die Zugabe von 0,5 bis 1 Gew-% höhermolekularem PVA erhöht die Dehnbarkeit der Membranen um bis zu 100 %. Eine Verstärkung kann also durch Mischen verschiedener PVAs mit unterschiedlichen Molekulargewichten erreicht 20 werden.

Beispiel 6.

Resorptionsverhalten

25 Die Resorbierbarkeit der Membranen mit unterschiedlichen Dicken (von 0,06 mm bis 0,16 mm) wurde bei 37 °C in wässriger Lösung untersucht. Die zeitabhängige Auflösung der verschiedenen Membranen kann durch Variation der Zusammensetzung und der Dicke gesteuert werden. Membranen, die nur aus relativ kurzem PVA bestehen (Mw = 20000 30 g/mol), sind ab einer Dicke von 0,12 mm über einen Zeitraum von 4 Wochen stabil. Dünnerne Filme lösen sich schnell auf, sie zerfallen zuerst in grössere Bruchstücke, die aber keinen vollständigen Schutz vor Adhäs-

onen bieten können. Für homologe Mischungen, also Blends aus PVA mit einer hochmolekularen Komponente sind Membranen mit der Dicke  $\geq 0,1\text{mm}$  über einen Zeitraum von 4 Wochen stabil. Sowohl die reinen PVA-Filme als auch die Blends erscheinen in der Lösung transparent.

5

Beispiel 7.

Einfluss von Zusatzstoffen auf die Resorption

Wird Carboxymethylcellulose (kurz CMC) oder andere Kohlenhydrate 10 zugemischt, ändert sich die Resorptionsgeschwindigkeit und der Zerfallsmechanismus. Die Filme quellen mehr auf und erscheinen trübe, sie zerfallen nicht in grössere Bruchstücke. Es bilden sich auf der Oberfläche der Membran kleinere Löcher, die immer grösser werden. Schon die Beifügung von 0,25 Gew-% CMC ändert das Zerfallsverhalten der 15 Membranen.

Beispiel 8.

Sterilisation

20 Als Sterilisationsmethoden wurden Gammabestrahlung, EtOxSterilisation und Plasmasterilisation überprüft. Eine Gefahr bei der Sterilisation besteht darin, dass im Material Radikale gebildet werden können, die dann zu stabilen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Verknüpfungen innerhalb 25 der Membran führen können. Eine Folge davon wäre eine Unlöslichkeit des Materials und damit eine völlig veränderte Resorption. Solche neuen Bindungen im Material äussern sich jedoch dramatisch in der Viskosität. Zur Überprüfung wurden deshalb die sterilisierten Membranen wieder gelöst und im Viscotester gemessen. Die Viskositäten der Membranen nach der Gammasterilisation liegen unter den Ausgangswerten, das 30 kann damit erklärt werden, dass die Filme Wasser enthalten und somit die Einwaage etwas verfälschen. Die Co60-Strahlung lag im Bereich von 26,2 bis 30,4 kGy. Die Plasmasterilisation beinhaltet noch Trocknungs-

- 22 -

schrifte im Vakuum, aus diesem Grunde erhält man hier eine sehr gute Übereinstimmung der Viskosität mit der 8 %igen Ausgangslösung. Eine Vernetzung ist in keinem Fall (Überprüfung mehrerer Chargen) zu erkennen. Alle Sterilisationsmuster waren steril, d.h. alle drei Methoden

5 können eingesetzt werden.

**Beispiel 9.**

**Bioverträglichkeit**

10 Die Biokompatibilität der untersuchten Membranen ist ausgezeichnet, z.B. zeigt die akute systemische Toxizitätsprüfung in Mäusen keinerlei Unterschied zu den injizierten Kontrolllösungen. Die Injektionen wurden teilweise intravenös und teilweise intraperitoneal durchgeführt. Die Tiere wurden nach 4, 24, 48 und 72 Stunden nach der Injektion beobachtet.

15 Dasselbe gilt z.B. auch für die Cytotoxizitätsprüfungen mit Mausfibroblasten, welche ebenfalls gute Ergebnisse zeigten. Es wurde keinerlei Veränderung der Zellmorphologie oder Hinweise toxischer Wirkung gefunden. Das Material ist nicht zytotoxisch und weist keine akute systemische Toxizität auf.

20

**Beispiel 10.**

**Hydrogele**

25 PVA-Hydrogele können über Einfrier-Auftau-Prozesse hergestellt werden. 20 %ige PVA Lösungen werden in einer Petrischale bei 20 Grad eingefroren. Dieser Vorgang kann in mehreren Zyklen durchgeführt werden: 12 Stunden einfrieren und in abgedecktem Zustand wieder 2 Stunden auftauen. Die resultierenden PVA-Hydrogele sind formstabil und adhäsiv. Je höher das Molekulargewicht des PVA, desto formstabiler ist

30 das resultierende Gel.

**Beispiel 11.****Nanopartikel**

Nach den in Beispiel 10 genannten Gefrier-/Tauzyklen können auch

5 PVA-Partikel hergestellt werden. PVA oder PVA-Mischungen (verschiedene Molekulargewichte) werden in Wasser oder Phosphat-Puffer von pH 7,4 gelöst. Die wässrige Lösung wird in einem Volumenanteil von 2 bis 20 % in einen grossen Überschuss von Silikonöl gebracht. Dieses Gemisch wird in einem Homogenizer 5 Minuten lang bei 10000 Umdrehungen pro Minute zu einer Wasser/Öl-Emulsion homogenisiert. Nach 1 bis 10 Gefrierzyklen bei -20 °C werden die PVA-Partikel mit Aceton im Volumenverhältnis 1 : 10 extrahiert. Die PVA-Partikel werden abfiltriert, mit Aceton gewaschen und im Vakuum getrocknet. Die Form der Nanopartikel ist fast rund, mit etwas rauher Oberfläche. PVA-Hydrogel-Nanopartikel sind im Durchschnitt  $680 \pm 40$  nm gross.

15

**Beispiel 12.****Verbesserung der Gewebeadhäsion**

20 Es wurden Untersuchungen zur Gewebeadhäsion von im Laminarflow getrockneten PVA-Membranen oder von durch Gefrier-/Tauzyklen hergestellten formstabilen PVA-Hydrogelen vorgenommen. Das Adhäsionsverhalten der PVA-Produkte kann durch Aufrauhung der Oberfläche verbessert werden. Dies kann durch Giessen des PVA auf

25 Unterlagen mit definierten Oberflächen erreicht werden. Es kann hierzu eine geriffelte Unterlage verwendet werden. Ebenso können in die PVA-Oberfläche nachträglich Störungen aufgebracht werden, beispielsweise mit Nadeln im Mikrometerbereich oder durch Einpressen eines Musters.

30 Die Gewebeadhäsion kann auch durch eine Vernetzungsgradientenbildung verbessert werden. Dies kann durch eine Einstellung verschiedener Temperaturen schon während der Gelbildung erreicht werden.

Auch durch chemische Modifikation des PVA kann die Adhäsion verbessert werden. Die Hydrophilie der Membranoberfläche kann durch Einbringen von funktionellen Gruppen wie Carboxylgruppen verstärkt werden. Ferner kann die Hydrophilie der PVA-Membran durch die Art 5 der Unterlage, auf die sie gegossen wurde, beeinflusst werden. So erreicht ein Giessen auf polare Oberflächen wie Glas eine verstärkte Hydrophilie.

Bei durch Gefrier-Auftau-Zyklen hergestellten PVA-Hydrogelen kann 10 durch Gefriertrocknen im Lyophilisator eine Schwammstruktur hergestellt werden. Eine solche schwammartige Struktur verbessert das Handling und die Adhäsion auf feuchtem Gewebe, ohne die Wirksamkeit zu beeinträchtigen. Durch weitere Verarbeitungsprozesse, wie Pressen, kann das Verhalten der schwammartigen Struktur dem Gewebe ange- 15 passt werden.

Durch Lösungsmittelverdampfen hergestellte PVA-Membranen können mit PVA-Lösung besprüht und anschliessend lyophilisiert werden. Die gebildete Doppelschicht bringt den Vorteil einer kompakten Membran 20 einerseits und einer bioadhäsviven schwammartigen Struktur andererseits.

Über Gefrier-/Tauzyklen hergestellte PVA-Hydrogele können einem Temperaturgradienten ausgesetzt werden, so dass bioadhäsvive Eigen- 25 schaften im Material ausgebildet werden. Die vorteilhaften Eigenschaften ergeben sich durch unterschiedliche Dichte der physikalischen Netzpunkte aufgrund des Gradienten.

PVA-Lösungen können über Düsen versprüht und so zu einem Vlies 30 verarbeitet werden, das mit Vorteil in der Adhäsionsprophylaxe zu verwenden ist.

-25 -

Beispiel 13.

PVA-Beschichtung

- 5 In der Chirurgie werden textile Netze aus Polypropylen als Implantate verwendet, die sehr oft in direkten Kontakt mit dem viszeralen Abdomen kommen, wobei es bei Traumatisierung des Körpergewebes zu Verwachsungen kommen kann. Eine Beschichtung des vorgefertigten PP-Netzes mit einer anti-adhäsiven PVA-Schicht gemäss der Erfindung
- 10 kann solchen Verwachsungen entgegenwirken. Die Schicht sollte bis zur Abheilung des Gewebes, etwa 7 Tage, am Ort verbleiben und danach resorbiert werden.

Die Beschichtung der Netze erfolgt durch Eintauchen in eine PVA-Lösung. Die Schichtdicke auf dem PP-Netz kann durch die Konzentration der PVA-Lösung oder die Eintauchzeit gesteuert werden.

Eine sehr dünne Schicht im Nanometerbereich erreicht man durch Eintauchen des Netzes in eine 1 %ige etwa 80 °C heisse PVA-Lösung.

- 20 Für den Beschichtungsvorgang spielt das Molekulargewicht des PVAs keine entscheidende Rolle. Jedoch hängt die Resorptionszeit im Körper direkt mit dem Molekulargewicht zusammen. Für sehr dünne Beschichtungen ist es deshalb bevorzugt, hochmolekularen PVA von etwa 200000 g/mol Molekulargewicht einzusetzen, damit sich die
- 25 Schicht nicht sofort wieder löst und damit keinen Schutz vor Adhäsionen bieten kann. Eine sehr dünne Beschichtung verändert die Materialeigenschaften des Netzes nicht und die PVA-Schicht ist transparent.
- 30 Für eine dickere Schicht im Mikrometerbereich wird das zu beschichtende Netz einmal oder mehrmals in eine 3 bis 10 %ige PVA-Lösung eingetaucht und eingefroren. In ein bis fünf Frost-Tau-Zyklen, je

nach gewünschter Festigkeit, bildet sich so ein PVA-Hydrogel. Das PVA-Hydrogel ist elastisch und verändert auch in dickerer Schicht die Materialeigenschaften des Netzes nicht. Die Resorptionszeit wird durch diese physikalische Vernetzung entscheidend verlängert. Je höher das  
5 Molekulargewicht, umso stabiler ist das Hydrogel. Zur genauen Einstellung der Resorptionszeit kann auch eine Mischung aus niedermolekularem/hochmolekularem PVA eingesetzt werden. Die PVA-Schicht ist transparent.

10

Ergebnis der Prophylaxe  
Einsatz bei chirurgischem Eingriff im Tierversuch

Beispiel 14.

15

Als Tiermodell wird das Zökum von Hasen verwendet.  
Die Oberfläche des Zökums (Caecum) wird mit einer Gaze-Kompresse  
15 min abgerieben. Das viszerale Peritoneum, das dem übrigen Darm-  
konvolut zugewandt ist, wurde über 5 Minuten abgerieben. Geprüft wur-  
20 den der prozentuale Anteil der Verwachungsfläche zwischen der  
Wundfläche im parietalen Peritoneum und dem viszeralen Peritoneum  
auf der Zökumoberfläche, die Tenazität der Verwachsung sowie der  
histologische Zustand im Bereich des Bauchwanddefekts.

Als Adhäsionsprophylaxe werden verwendet:  
25 ein PVA-Film aus 8 % Lösung im Laminarflow getrocknet, in einer Dicke  
von 0,09 bis 0,1 mm (AAF1),  
ein PVA-Hydrogel aus PVA1/PVA2 im Gewichtsverhältnis 60:40 in einer  
Dicke von 0,15 mm hergestellt durch Gefrier-AuftauZyklen,  
sowie ein handelsüblicher Antiadhäsionsfilm als Referenz.

30

Das erfindungsgemäße Hydrogel umfasst mit PVA1 relativ kurzkettigen  
PVA mit einem Molekulargewicht von ca. 20000 g/mol und mit PVA2

relativ langkettigen PVA mit einem Molekulargewicht von ca. 200000 g/mol. Das Hydrogel wurde hergestellt aus 20 % wässriger Lösung unter 3maliger Durchführung der Gefrier-/Tauprozesse. Das formstabile Hydrogel besteht zu etwa 80 % aus Wasser.

5

Die prophylaktisch unbehandelte Kontrollgruppe von 12 Tieren zeigte Adhäsion zu 100 % Flächenausmass. Die Proben AAF1 und AAF2 zeigen eine bessere Wirksamkeit als der bekannte Antiadhäsionsfilm.

- 10 Bei Prophylaxe mit AAF1 sind von 12 Tieren 8 Tiere vollkommen adhäsionsfrei, 4 Tiere zeigen Adhäsionen mit Flächenausmass von 50, 15, 2 bzw. 10 %. Bei Prophylaxe mit AAF2 zeigen von 12 Tieren 6 Tiere Adhäsionen mit geringem Flächenausmass von 3 bis 10 %. Eine statistische Analyse der Daten im One Way Analysis of Variance Test (ANOVA) zeigt einen signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe. Im Vergleich zum bekannten Antiadhäsionsfilm reduzieren AAF1 und AAF2 die Adhäsionflächen. AAF1 und AAF2 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, jedoch sind die Unterschiede zum bekannten Film signifikant.
- 15

20

Bei den Tiergruppen, die mit AAF1 und AAF2 behandelt wurden, sind die Verwachsungen, sofern welche auftreten, zarte und leicht lösbare Bindegewebsstrukturen. Die PVA-Folien sind also wirksam zur Adhäsionsprophylaxe.

25

Beispiel 15.

Als Tiermodell wird das Uterus-Horn-Modell an Hasen gebraucht, das ein in der Literatur etabliertes Adhäsionssystem mit langer Erfahrung ist.

30

Die Serosa am Uterushorn wurde auf einer Länge von 5 cm mit einem frischen Skalpell abgeschabt. So sind punktuelle Blutungen generiert

- 28 -

worden. Insgesamt wurden 12 Hasen operiert. 8 Tiere wurden mit AAF2 prophylaktisch behandelt und 4 Tiere dienten als Kontrollgruppe. Alle Tiere hielten ihr Gewicht oder nahmen geringfügig zu und zeigten keine Anzeichen akuter Toxizität. Von den 8 mit Adhäsionsprophylaxe behandelten Tieren zeigten 7 keine Adhäsion, eines zeigte leichte Verwachsungen auf etwa 25 % der Fläche. Durch die PVA-Adhäsionsprophylaxe wird deutliche Reduktion der Adhäsionen erreicht.

10

15

20

25

30

## Patentansprüche

1. Medizintechnisches Produkt zur Adhäsionsprophylaxe für die postoperative Verhinderung von Verwachsungen im Körper umfassend mindestens einen PVA (Polyvinylalkohol) ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus unvernetztem PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000, vernetztem PVA und Mischungen davon.  
5
- 10 2. Produkt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der PVA ein Molekulargewicht von 20000 bis 400000 g/mol aufweist.
- 15 3. Produkt nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der PVA aus einem Gemisch von niedermolekularen und hochmolekularen Komponenten gebildet ist, von denen mindestens eine PVA ist, wobei die hochmolekulare Komponente insbesondere hochmolekularer PVA ist.
- 20 4. Produkt nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000 chemisch vernetzt ist.
- 25 5. Produkt nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die chemische Vernetzung durch vernetzende Veresterung vorgenommen ist.
- 30 6. Produkt nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die chemische Vernetzung mittels Vernetzern vorgenommen ist, die eine in vivo reversible Vernetzung, insbesondere eine durch chemische Hydrolyse reversible Vernetzung ergeben.

7. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Vernetzer mehrwertige Carbonsäuren und/oder ihre Derivate vorgesehen sind.  
5
8. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000 physikalisch vernetzt ist.
- 10 9. Produkt nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalische Vernetzung durch Kristallitbildung vorgenommen ist.
10. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass PVA durch über Hydroxylgruppen gebundene Reste modifiziert ist.  
15
11. Produkt nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass 1 bis 10, insbesondere 1 bis 2 Reste pro PVA-Molekül vorhanden sind.  
20
12. Produkt nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Reste C2 bis C16 Kohlenstoffatome enthalten, insbesondere Kohlenhydrat-, Fettsäure- und/oder Alkoholreste sind.  
25
13. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass PVA in Mischung mit einer hochmolekularen Komponente, die kein PVA ist, vorliegt.
- 30 14. Produkt nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die hochmolekulare Komponente in einer Menge von 0,5 bis 4 Gew.-%, insbesondere 1 bis 2 Gew.-% vorliegt.

15. Produkt nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass dem PVA als hochmolekulare Komponente ein Zuckerpolymer zugesetzt ist.  
5
16. Produkt nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Zuckerpolymer ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Carboxymethylcellulose, Dextran und/oder Hydroxymethyl-cellulose.  
10
17. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es in Form einer mindestens einschichtigen Folie vorliegt.  
15
18. Produkt nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie als Bilayer oder Trilayer, insbesondere aus PVA und Carboxymethylcellulose gebildet ist.  
19. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie mindestens einseitig eine Strukturierung aufweist.  
20
20. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es, insbesondere mindestens eine Schicht, in Form eines Schaums oder eines Schaumprecursors vorliegt.  
25
21. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es in Form einer Lösung vorliegt.  
30

22. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es in Form eines Gels, insbesondere eines Mikrogels vorliegt.
- 5 23. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es in Form eines formstabilen Hydrogels vorliegt.
- 10 24. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es in Form von Mikropartikeln, insbesondere Nanopartikeln vorliegt.
- 15 25. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es in mit wässrigen Medien gequollener Form bereitgestellt ist.
- 20 26. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in eine trockene Membran durch Quellung eine Flüssigkeitsmenge von bis zu 20 % des Produktgewichts aufgenommen ist.
- 25 27. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Molekulargewicht des PVA bzw. der Mischung so gewählt ist, dass er gegebenenfalls nach einer Hydrolyse bzw. Aufhebung der Vernetzung, im wesentlichen ohne Degradation der PVA-Moleküle über die Niere ausscheidbar ist.
- 30 28. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass seine Funktionsdauer im Operationsgebiet 5 bis 21 Tage, insbesondere 5 bis 14 Tage beträgt.

29. Produkt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass seine makroskopische Auflösung unter physiologischen Bedingungen 7 bis 60 Tage beträgt.
- 5 30. Verfahren zur Herstellung eines medizintechnischen Produkts zur Adhäsionsprophylaxe, dadurch gekennzeichnet, dass es aus mindestens einem PVA (Polyvinylalkohol) ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus unvernetztem PVA mit einem Molekulargewicht von 15000 bis 400000, vernetztem PVA und Mischungen davon ausgebildet wird, wobei das Molekulargewicht des PVA bzw. der Mischung so gewählt ist, dass er gegebenenfalls nach Aufhebung der Vernetzung, im wesentlichen ohne Degradation der PVA-Moleküle über die Niere ausscheidbar ist.
- 15 31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt lyophilisiert wird.
- 20 32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass PVA physikalisch vernetzt wird, insbesondere durch Kristallitbildung.
- 25 33. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalische Vernetzung durch Gefrier-/Tauzyklen vorgenommen wird, die insbesondere mehrfach wiederholt werden.
- 30 34. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 33, dadurch gekennzeichnet dass durch Gefrier-/Tauzyklen Nanopartikel hergestellt werden.

35. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass PVA chemisch vernetzt wird, insbesondere in einem Lösemittelgemisch vernetzt wird, wobei eine unter physiologischen Bedingungen reversible Vernetzung bevorzugt ist.  
5
36. Verfahren nach Anspruch 30 oder 35, dadurch gekennzeichnet, dass als Vernetzungsmittel mehrwertige Carbonsäuren, insbesondere ihre Derivate eingesetzt werden.
- 10 37. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass das Auflösungsverhalten insbesondere die Funktionsdauer von PVA, vorzugsweise unvernetztem PVA oder physikalisch vernetztem PVA, mit einem Molekulargewicht im Bereich von 15000 bis 400000 durch Vermischen mit hochmolekularen Komponenten, insbesondere PVA und/oder Zuckerpolymeren auf den gewünschten Grad eingestellt wird.
- 20 38. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass das Auflösungsverhalten, insbesondere die Funktionsdauer durch den Vernetzungsgrad eingestellt wird.
- 25 39. Verfahren nach einem der Ansprüche 30, 31 oder 35 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass PVA in Form eines vorgefertigten Erzeugnisses, insbesondere einer Folie oder eines Films vernetzt wird.
- 30 40. Bereitstellung des medizintechnischen Produkts nach einem der Ansprüche 1 bis 29 zur Verwendung bei der Prophylaxe von Adhäsionen bei chirurgischen Eingriffen in der Humanmedizin und Veterinärmedizin.

41. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt in Form einer Membran zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist.  
5
42. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt in Form einer mehrschichtigen Membran oder Folie zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist, wobei vorzugsweise eine Seite so ausgebildet ist, dass Gewebeadhäsionen vermieden werden, und die andere so ausgebildet ist, insbesondere durch Strukturierung der Oberfläche, dass Gewebeadhäsionen begünstigt werden.  
10
43. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt in Form einer Lösung zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist.  
15
44. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt in Form eines Schaums zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist.  
20
45. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt in Form eines Gels, insbesondere eines Sprühgels zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist.  
25
46. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt in Form von Nanopartikeln zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist.  
30

- 36 -

47. Bereitstellung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass das medizintechnische Produkt als Spray zur physikalischen Separation von Gewebeschichten bestimmt ist.

5

10

15

20

25

30

